

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

**Srovnání pasivního, nízkoenergetického a klasického rodinného domu
s ohledem na jejich energetickou náročnost**

Passive, Lowenergetic and classical House Energetic Comparison

Student:

Petr Vavřík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Matoušek, Ph. D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Vavřík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: Srovnání pasivního, nízkoenergetického a klasického rodinného domu s ohledem na jejich energetickou náročnost

Passive, Lowenergetic and Classical House Energetic Comparison

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte kategorizace jednotlivých objektů.
2. Pro jednotlivé objekty proveďte výpočet tepelné ztráty.
3. Na základě výpočtu tepelné ztráty navrhnete vytápění objektu.
4. Proveďte energetické srovnání pasivního, nízkoenergetického a klasického rodinného domu

Seznam doporučené odborné literatury:

TOMAN, Z., BÁLEK, S., KLEČKOVÁ, Z. *Tepelně technické výpočty*, VŠB-TU, HUF, Ostrava 1983.
CIHELKA, J. *Vytápění, větrání, klimatizace*.
RAŽNJEVIČ, K. *Termodynamické tabulky*, Alfa, 1983.
ČSN 06 06 10 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.
ČSN 73 05 42 : Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov – vlastnosti materiálů a konstrukcí.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Matoušek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně.

V Ostravě dne 21.5.2010 .

Petr Vavřík

Handwritten signature of Petr Vavřík in blue ink.

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.

- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užití své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 21.5.2010 .

Petr Vavřík



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VAVŘÍK, P., *Srovnání pasivního, nízkoenergetického a klasického rodinného domu s ohledem na jejich energetickou náročnost : Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra technika tvorby a ochrany životního prostředí, 2010, 49s. Vedoucí práce: Matoušek, J.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním pasivního, nízkoenergetického a klasického rodinného domu s ohledem na jejich energetickou náročnost. Teoretická část je věnována historii a charakteristikou jednotlivých domů. Výpočtová část je zaměřena na výpočet tepelných ztrát, tepelných zisků a návrhem vytápění. V ekonomické části jsou poté porovnány investiční a provozní náklady.

ANNOTACION OF BACHELOR WORK

The bachelor thesis is focused on comparisity a Pasove, low-energetic and classic house based on it is energetic balance. The theoretical part of the bachelor thesis is focused on a history and characteristic each of the house. The calculating part is focused a caltulation of the energetic losts, the energetic profits and a proposal of heativy. The economic part compaises the capital and costson the heativy.

1	ÚVOD.....	9
1.1	HISTORIE NÍZKOENERGETICKÉ VÝSTAVBY	11
1.1.1	NÍZKOENERGETICKÉ DOMY PRVNÍ GENERACE	11
1.1.2	NÍZKOENERGETICKÉ DOMY DRUHÉ GENERACE.....	11
1.1.3	PRVNÍ PASIVNÍ DŮM	12
1.2	ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV	13
1.3	KATEGORIZACE JEDNOTLIVÝCH BUDOV	14
1.3.1	OBVYKLÁ NOVOSTAVBA.....	14
1.3.2	NÍZKOENERGETICKÝ DŮM	14
1.3.3	PASIVNÍ DŮM.....	15
2	TEORETICKÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	17
2.1	CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA.....	17
2.2	TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA	17
2.2.1	PŘIRÁŽKA P_1	18
2.2.2	PŘIRÁŽKA P_2	18
2.2.3	PŘIRÁŽKA P_3	19
2.3	TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM.....	19
2.4	TEPELNÉ ZISKY Z VNITŘNÍCH ZDROJŮ TEPLA.....	20
2.4.1	PRODUKCE TEPLA LIDÍ	21
2.4.2	TEPELNÉ ZISKY OD SVÍTIDEL	21
2.4.3	TEPELNÉ ZISKY PŘÍSTROJŮ.....	21
2.5	TEPELNÉ ZISKY PROSTUPEM OKNY	22
3	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT NOVOSTAVBY	23
3.1	POPIS NOVOSTAVBY	23
3.2	VÝPOČET SOUČinitele PROSTUPU TEPLA	24
3.2.1	TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA.	24
3.3	VÝPOČET ZÁKLADNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY	25
3.4	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM TEPLA	25
3.5	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM.....	26
3.6	VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ	26
3.6.1	TEPELNÁ PRODUKCE LIDÍ	26
3.6.2	TEPELNÉ ZISKY PROSTUPEM TEPLA SKRZ OKNA.....	26
3.6.3	TEPELNÉ ZISKY OD SVÍTIDEL A STROJŮ	26
3.6.4	CELKOVÉ TEPELNÉ ZISKY	27
3.7	CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PRO MÍSTNOST 1.I.....	27

3.8	CELKOVÁ ZTRÁTA PRO CELOU KLASICKOU NOVOSTAVBU	27
4	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU.....	28
4.1	POPIS NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU.....	28
4.2	POPIS VÝPOČTU SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA	28
4.2.1	TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA.	28
	TAB. 4.1 SKLADBA ZDIVA.....	28
4.3	VÝPOČET ZÁKLADNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY	29
4.4	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM TEPLA	29
4.5	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM.....	29
4.6	VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ	29
4.6.1	TEPELNÁ PRODUKCE LIDÍ	29
4.6.2	TEPELNÉ ZISKY ZE SOLÁRNÍCH ZDROJŮ PROSTUPEM TEPLA SKRZ OKNA	29
4.6.3	TEPELNÉ ZISKY OD SVÍTIDEL	30
4.6.4	CELKOVÉ TEPELNÉ ZISKY	30
4.7	CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PRO MÍSTNOST 1.I.....	30
4.8	CELKOVÁ ZTRÁTA PRO CELÝ NÍZKOENERGETICKÝ DŮM	30
5	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PASIVNÍHO DOMU	31
5.1	POPIS PASIVNÍHO DOMU.....	31
5.2	POPIS VÝPOČTU SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA	31
5.2.1	TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA.	31
	TAB. 4.1 SKLADBA ZDIVA.....	31
5.3	VÝPOČET ZÁKLADNÍ TEPELNÉ ZTRÁTY	32
5.4	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM TEPLA	32
5.5	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM.....	32
5.6	VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ	33
5.6.1	TEPELNÁ PRODUKCE LIDÍ	33
5.6.2	TEPELNÉ ZISKY SKRZ OKNA	33
5.6.3	TEPELNÉ ZISKY OD SVÍTIDEL	33
5.6.4	CELKOVÉ TEPELNÉ ZISKY	33
5.7	CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PRO MÍSTNOST 1.I.....	34
5.8	CELKOVÁ ZTRÁTA PRO CELÝ PASIVNÍ DŮM	34
6	NÁVRH VYTÁPĚNÍ.....	35
6.1	VÝPOČET CELKOVÉ POTŘEBY TEPLA ZA CELÉ OTOPNÉ OBDOBÍ ...	35
6.2	KONTROLA KATEGORIE JEDNOTLIVÝCH BUDOV	36
6.3	NÁVRH VYTÁPĚNÍ PRO NOVOSTAVBU.....	37

6.4	NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU	38
6.4.1	NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA	38
6.4.2	NÁVRH HORKOVODNÍHO KRBUS VLOŽKOU	39
6.5	NÁVRH VYTÁPĚNÍ PASIVNÍHO DOMU	40
6.6	SROVNÁNÍ SPOTŘEBY ENERGIE ZA VYTÁPĚCÍ OBDOBÍ.....	41
7	EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ NÁKLADŮ	42
7.1	INVESTIČNÍ NÁKLADY	42
7.2	PROVOZNÍ NÁKLADY	42
	CENA ZA CELÉ VYTÁPĚCÍ OBDOBÍ:	43
7.2.1	CENA ZA VYTÁPĚNÁ NOVOSTAVBY	43
7.2.2	CENA ZA VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU	43
7.2.3	CENA ZA VYTÁPĚNÍ PASIVNÍHO DOMU	44
7.2.4	SROVNÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	44
7.3	CELKOVÉ POROVNÁNÍ NÁKLADŮ.....	45

Seznam použitých symbolů:

Q_c	celková tepelná ztráta	[W]
Q_p	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
Q_v	tepelná ztráta větráním	[W]
Q_z	tepelné zisky od vnitřních zdrojů	[W]
Q_l	tepelné zisky od lidí	[W]
Q_{sv}	tepelné zisky od svítidel	[W]
Q_{pf}	tepelné zisky od přístrojů	[W]
Q_{SaPP}	tepelný zisk svítidel a přístrojů	[W]
Q_o	základní tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
Q_{pdl}	tepelná ztráta prostupem tepla podlahou	[W]
Q_g	tepelné zisky přes okna	[W]
p_1	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[-]
p_2	přirážka na urychlení zátoku	[-]
p_3	přirážka světovou stranu	[-]
$S_{1,2} \dots S_n$	plocha ochlazované části konstrukce	[m]
$k_1, k_2 \dots k_n$	součinitel prostupu tepla	[W.m-2.K-1]
t_i	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
$t_{e1}, t_{e2} \dots t_{en}$	výpočtová teplota venkovního prostředí	[°C]
l_i	tloušťka vrstvy materiálu	[m]
l_i	součinitel tepelné vodivosti materiálu	[W.m-1.K-1]
a_1	α součinitel přestupu tepla	[W.m-2.K-1]
A	celková plocha konstrukcí ohraničujících místnost	[m ²]
V_v	objemový tok větracího vzduchu	[m ³]
a	délka venkovních dveří	[m]
B	charakteristické číslo budovy	[Pa-0,67]
M	charakteristické číslo místnosti	[-]
i_z, i_d, i_m	počet žen, dětí a mužů	[-]
P	celkový příkon svítidel včetně ztrát v předřadníku	[W]
c_1	součinitel současnosti používání svítidel	[-]
c_2	zbytkový součinitel	[-]

R	tepelný odpor	[m ² .K ¹ .W ⁻¹]
E_c	spotřebovaná energie za celé vytápěcí období	[kWh]
E_p	spotřebovaná energie při vytápění plynem	[kWh]
e	poměrná potřeba tepla od počátku vytápěcího období	[kWh]
d_o	doba vytápěcího období	[den]

ÚVOD

1.1 Historie nízkoenergetické výstavby

Stavba nízkoenergetických domů sahá až k počátkům samotného lidského stavění vůbec. Všechny stavby, které zajišťovaly především ochranu před povětrnostními vlivy, lze v určitém slova smyslu chápat jako nízkoenergetické. Jejich účelem bylo minimalizace použití cizí energie na vytápění.

První jasně solární architektura je prokázána již v době před 3100 lety u severoamerických indiánů a před 2500 lety v Řecku. U staveb vyššího standardu byla sloupcová představa, většinou s trojúhelníkovým štítovým prvkem zvaným tympanon, který v létě zastíňoval jižní okna a umožňovala využití slunečního záření v zimě.

1.1.1 Nízkoenergetické domy první generace

V sedmdesátých letech zažila Amerika první boom nízkoenergetických, taky solárních domů první generace. Prvních několik stovek domů které tehdy postavili dalo impuls celosvětovému trendu nízkoenergetických domů. I když v té době to byl impuls jen pro opravdové nadšence.

Nízkoenergetické domy první generace mají několik společných charakteristických rysů:

- Podceňovaný vliv tepelných ztrát
- Největší váha byla kladena na pasivní solární zisky. Přehřívání prostorů bylo tehdy běžné.
- Tepelné mosty byly příliš četné a příliš velké
- Nebyla věnována pozornost vzduchotěsnosti. Domy byly netěsné

Vývojově patří nízkoenergetické domy první generace, tedy domy ze sedmdesátých let, k předkům dnešní nízkoenergetické výstavby.

1.1.2 Nízkoenergetické domy druhé generace

Mezi první nízkoenergetické domy druhé generace je z roku 1974 dům Philips. Obytná plocha je 116m² a prostor na vytápění je 290m².

Dům Philips potřebuje na vytápění 3200kWh elektrického proudu k pohonu tepelného čerpadla. Teplo na přípravu TUV a vytápění dodává 20m² vakuových trubkových kolektorů.

Philips tímto ukazuje jak velkým vývojem prošla architektura v nízkoenergetický domech za posledních 25 let. Dnes by stejné množství slunečních kolektorů a rozměrů tepelného čerpadla vytopilo až desetkrát větší dům včetně přípravy TUV.

Domy druhé generace již splňovaly veškeré podstatné složky, které patří k nynějším nízkoenergetickým domům, byť v trochu nevyzrálé formě:

- Zónování (není pro nízkoenergetický dům nutné)
- Vysoký standard tepelné izolace
- Vysokou vzduchotěsnost
- Mechanické větrání
- Dobré využití odpadního tepla
- Částečné krytí zbytkové potřeby tepla solárním zařízením

1.1.3 První pasivní dům

V jednom výzkumném projektu financovaném spolkovou zemí Hesensko a nazvaném „Pasivní domy“ byly definovány vědeckotechnické základy, díky kterým byl již v říjnu 1990 položen základní kámen prvního pasivního domu, řadového domu se čtyřmi jednotkami v Darmstadtské městské části Kranichstein, a to z iniciativy tehdejšího hesenského ministra hospodářství Alfreda Schmidta.

Tento první pasivní dům je obýván již od roku 1991. Již od začátku byl celý projekt doprovázen vysoce přesným vědeckým měřením. Výsledky byly revoluční. Prokázaly, že i ve studené a vlhké střední Evropě je možné stavět obytné budovy tak, aby nebylo třeba používat běžné topení a budovy si přesto zachovají vynikající tepelné vlastnosti.

Průměrné hodnoty spotřeby topného tepla naměřené během 15 let jsou stabilně na úrovni kolem 10 kWh / (m²a), a jsou tedy na úrovni méně než jedné desetiny spotřeby tepla běžných novostaveb.

Projekt pasivního domu byl původně zamýšlen pouze pro účely vědeckého využití potenciálu v rámci efektivního využívání energií. Tento úkol projekt vynikajícím způsobem splnil, přičemž bylo např. provedeno rozsáhlé srovnávání měření ve vztahu k tepelnému

chování budovy. Výsledky těchto měření potvrdily, že kvalitní tepelná izolace v praxi skutečně zaručuje dosažení vypočítaných energetických úspor

1.2 Energetická náročnost budov

Energetická náročnost budovy vyjadřuje základní požadavek na úsporu energie budovy na vytápění jejím stavebním řešením. Je to množství energie skutečné, nebo odhadované pro splnění různých potřeb spojených se standardizovaným užíváním budovy, což může mimo jiné zahrnovat vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, větrání a osvětlení. Toto množství energie se promítá do jednoho, nebo více číselných ukazatelů, které byly vypočteny s ohledem na izolaci, technické ukazatele a vlastnosti zařízení, návrh a umístění ve vztahu ke klimatickým hlediskům, slunečnímu osvitu a působením sousedících konstrukcí, vlastní výrobě energie a jiným faktorům, které ovlivňují potřebu energie, včetně vnitro klimatického prostředí.

Je to důležité jak pro dosažení úspor energie, tak v boji proti klimatickým změnám. Zároveň snížení spotřeby primární energie v tomto sektoru přispěje k větší energetické bezpečnosti. Potenciál dosud nevyužitých úspor je obrovský.

Hodnotí se vytápěná zóna budovy, tedy buď celá budova nebo její ucelená část, která je z vnější strany obklopena vnějším prostředím nebo sousední budovou. Vnější prostředím je přitom vnější vzduch, nebo vzduch v nevytápěných prostorech vně vytápěné zóny budovy, nebo jiná přilehlá vytápěná zóna, anebo přilehlá zemina. Nástavby, přístavby a obdobné nově vytápěné části budov, vzniklé při změnách budov, se hodnotí jako samostatné vytápěné zóny budovy. Součástí vytápěné zóny budovy jsou všechny konstrukce na systémové hranici budovy. Za součást vytápěné zóny budovy se nepovažují lodžie, balkóny, římsy, markýzy, atiky, základy apod.

Energetická náročnost budov slouží k hodnocení budov za vzájemně srovnatelných podmínek, tedy za jednotných, zvláštním předpisem určených, klimatických a provozních podmínek. Tím se liší od energetické bilance pro energetický audit, která naopak musí při výpočtu zohlednit místní klimatické a skutečné provozní podmínky, zpravidla odlišné od jednotných

Všechny budovy lze zařadit podle stanovených pravidel do několika kategorií (tab. 1.1). Hodnoceným kritériem je energetická náročnost jednotlivých budov, která je

závislá mimo jiné na měrné potřebě tepla na vytápění. To je množství tepla, potřebné na vytápění za rok, vztažené na 1 m² podlahové plochy vytápěné části budovy.

kategorie	potřeba energie na vytápění
	[kWh/m ²]
nulové domy	< 5
pasivní domy	< 15
nízkoenergetický domy	< 50
obvyklá novostavba	80 – 140
starší výstavba	často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby a více

Tab. 1.1 kategorie budov

1.3 kategorizace jednotlivých budov

1.3.1 Obvyklá novostavba

Pod pojmem "obvyklá novostavba" je myšlen dům, jehož měrná potřeba tepla na vytápění je více než 50 kWh/m² za rok. Jednoznačnou výhodou těchto domů je nižší pořizovací cena. Tato výhoda je ale v budoucnu vykoupena relativně vyššími provozními náklady na teplo. Vzhledem k použitým materiálům není v domě pocit tepelné pohody. Zdi jsou často studené a před okny pociťujete chlad. Klasické otopné systémy často vysušují vzduch, což může dráždit sliznice a znepříjemňovat dýchání. Levná plastová okna hermeticky uzavírají celý objekt. Tím často vzniká skleníkové prostředí, ve kterém se daří bakteriím a plísním. Všechny tyto vady se dají samozřejmě za cenu dodatečných nákladů odstranit, čímž se budeme blížit k nízkoenergetickému domu, avšak cenově jsou tyto dodatečné úpravy mnohdy dražší, než samotná stavba nízkoenergetického domu. I zde se již uplatňují kvalitní moderní materiály, které dovolují rychlou a kvalitní výstavbu.

1.3.2 Nízkoenergetický dům

Nízkoenergetický dům je dle definice takový dům, jehož měrná potřeba tepla na vytápění je maximálně 50 kWh/m² za rok. Z toho vyplývá, že je oproti "klasickému levnému domu" lépe odizolován. Co se týče tepelné pohody a zdravotních hledisek, může na tom být lépe, stejně, ale v některých případech dokonce i hůře než u "klasického

levného domu." V případě, že Váš dům hermeticky uzavřete může být skleníkový efekt ještě silnější. Výsledkem je ještě nezdravější prostředí. Záleží na konstrukci a použitých materiálech.

Nízkoenergetické domy na druhou stranu již umožňují využití nových pokročilých technologií, které jsou "klasickým levným domům" často zapovězeny. Jedná se především o způsob vytápění pomocí vzduchotechniky. Systém funguje na principu nucené cirkulace vzduchu v domě. Čerstvý vzduch je zahřán na potřebnou teplotu a vháněn do místnosti. Vydýchaný vzduch je naopak řízeně odsáván a vypouštěn ven z domu. Tento systém je i energeticky úsporný. Teplý odpadní vzduch totiž prochází tepelným výměníkem (rekuperátorem), který pomůže ohřát čerstvý vzduch. V případě použití zemního registru, přes který je čerstvý vzduch nasáván, může navíc celý systém v létě fungovat jako přirozená klimatizace.

Díky nucené výměně vzduchu (větrání) v místnosti vzniká zdravé prostředí, které nepodporuje vznik plísní a bakterií. Dále je prokázáno, že systém dokáže udržet relativně stabilní úroveň vlhkosti vzduchu, takže se Vám lépe dýchá. Důležité i hledisko ekologické, kdy nižší spotřeba energie šetří životní prostředí.

1.3.3 Pasivní dům

Za pasivní je dle definice považován dům, jehož měrná roční spotřeba tepla nepřesáhne za rok 15 kWh/m². Pasivní je proto, že většina tepla, které je potřeba na zachování tepelné pohody se do domu dostává pasivními způsoby, z lidí, z používání spotřebičů, z osluněných jižních částí.

Jeho hlavním požadavkem je zabránit teplu v úniku z domu. Tomuto cíli bývá často podřizován i tvar budovy a množství zasklené plochy. Co se týče kritérií pohody a zdraví, je na tom v podstatě stejně jako nízkoenergetický dům. Za předpokladu, že použijete vzduchotechniku s rekuperací tepla se stávají složité otopné soustavy přebytečnými. Pokud se zavede tzv. nucené větrání s rekuperací tepla, lze navíc využít až 90% tepla z odváděného znečištěného vzduchu.

Pasivní dům během své životnosti ohrožuje životní prostředí výrazně méně, než jiné domy. Aby se jednalo o opravdu ekologický dům, je potřeba volit takové materiály, které mají co nejpříznivější ekologickou bilanci. To znamená, že na jejich výrobu bylo spotřebováno co nejméně energie. Samotné materiály jsou recyklovatelné a nejlépe jako surovina obnovitelné

Za předpokladu, že nebudujeme složitý otopný systém a vzdáme se vymožeností jako zasklené plochy, mohou být investiční náklady na vybudování pasivního domu přijatelné. Odměnou za volbu pasivního domu jsou minimální provozní náklady, což však oceníme asi až časem, je zdravé prostředí a dobrý pocit, že děláme maximum pro ochranu životního prostředí.

2 TEORETICKÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Pro výpočet rodinného domku použijeme normu ČSN 060210. Podle této normy stanovíme postup výpočtu.

2.1 Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta Q_c se spočítá součtem tepelných ztrát prostupem Q_p a tepelných ztrát větráním Q_v , hodnota je snížena o trvalé tepelné zisky Q_z .

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad [\text{W}] \quad (1)$$

2.2 Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla se určí ze vztahu:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde:

- Q_o je základní tepelná ztráta prostupem tepla,
 p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí,
 p_2 přírážka na urychlení zátoku,
 p_3 přírážka na světovou stranu.

Základní tepelná ztráta Q_o je dána součtem tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi ohraničujícími vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od sousední místnosti s nižší teplotou.

$$Q_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde:

- S_1, S_2, \dots, S_n je plocha ochlazované části konstrukce [m]
 k_1, k_2, \dots, k_n součinitel prostupu tepla [W.m⁻².K⁻¹]
 t_i výpočtová vnitřní teplota [°C]

$t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en}$ výpočtová teplota venkovního prostředí [°C]

Pokud je u některých stavebních konstrukcí teplota na vnější straně vyšší než teplota ve vytápěné místnosti, má tepelný tok prostupující touto konstrukcí zápornou hodnotu. V takovémto případě jde o tepelný zisk, který zmenšuje základní tepelnou ztrátu místnosti prostupem tepla Q_o .

2.2.1 Přirážka p_1

Je přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí a umožňuje zvýšení teploty vnitřního vzduchu tak, aby i při nižší povrchové teplotě ochlazovaných konstrukcí bylo ve vytápěné místnosti dosaženo požadované teploty.

Přirážka se spočte:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_o \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4)$$

Kde:

k_o je průměrným součinitelem prostupu tepla všech konstrukcí dané místnosti.

Vzorec pro výpočet:

$$k_o = \frac{Q_o}{\sum A \cdot (t_i - t_e)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (5)$$

kde:

$\sum A$ celková plocha konstrukcí ohraničujících místnost,

t_i výpočetní teplota vnitřní,

t_e výpočetní teplota vnější.

2.2.2 Přirážka p_2

přirážka na urychlení zátoku. S touto přirážkou počítáme pouze v případě kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění.

Poznámka:

- 0,10 při denní době vytápění delší než 16 hodin

- podle ČSN 06 0220 při denní době vytápění kratší než 16 hodin

2.2.3 Přirážka p_3

Jedná se o přirážku na světovou stranu. O výši této přirážky rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce. Při více ochlazovaných konstrukcích rozhoduje poloha jejich společného rohu. Hodnoty přirážky jsou v tabulce 1.2.

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
přirážka	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tab. 2.2 přirážky na světovou stranu

Vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (6)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (7)$$

kde:

k je součinitelem tepla konstrukcemi [W.m-2.K⁻¹]

l_i tloušťka vrstvy materiálu [m]

λ_i součinitel tepelné vodivosti materiálu [W.m-1.K⁻¹]

α_1, α_2 součinitel přestupu tepla [W.m-2.K⁻¹]

2.3 Tepelná ztráta větráním

Vzhledem k neustálým snižováním tepelných ztrát, díky zvyšování zateplení, novým, kvalitnějším materiálům a novými technologiemi se úměrně zvyšuje i potřeba nuceného větrání. Na základě průměrné produkce 15-25m³.h⁻¹ CO₂ na osobu je stanoveno minimální doporučené množství větraného vzduchu. V souladu s požadavky normy ČSN 73 0540.2 by se výměna vzduchu měla pohybovat v rozmezí 0,3 až 0,6 h⁻¹, v závislosti na využití prostor, prováděné činnosti atd. Vzhledem k předpokladu mladé aktivní rodině volím násobek 0,5 h⁻¹

Tato tepelná ztráta se vypočítá podle vzorce

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

kde:

V_v objemový tok větracího vzduchu $[\text{m}^3/\text{s}]$

t_i výpočetní teplota vnitřní $[\text{°C}]$

t_e výpočetní teplota vnější $[\text{°C}]$

Objemový tok větracího vzduchu stanovíme ze vztahu:

$$V_{\min} = \frac{n}{3600} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (9)$$

kde:

V_i vnitřní objem místnosti $[\text{m}^3]$

n požadavek na výměnu vzduchu (hygienické předpisy) $[\text{h}]$

2.4 Tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla

Zisky z vnitřních zdrojů rozdělujeme dle normy ČSN 730548 na:

- Produkce tepla lidí,
- Produkce tepla svítidel,
- Produkce tepla strojů,
- Prostup tepla ze sousední místnosti,
- Teplo vyvíjené různými technologickými postupy

2.4.1 Produkce tepla lidí

Produkce tohoto tepla závisí na teplotě vzduchu, fyzické zátěži osob, které budovu pravidelně obývají, jejich počtu a složení.

Základní produkce muže při mírné práci u stolu a při teplotě okolí 26°C na 62W. U žen je pak produkce 85% produkce muže a u dětí je průměrná produkce 75% produkce muže.

Celková produkce tepla lidí se vypočte ze vzorce:

$$Q_i = (0.85 \cdot i_z + 0.75 \cdot i_d + i_m) \cdot 62 \quad [\text{W}] \quad (10)$$

Kde:

i_z, i_d, i_m počet žen, dětí a mužů

2.4.2 Tepelné zisky od svítidel

Tepelné zisky ze svítidel určíme ze vztahu:

$$Q_{SV} = P \cdot c_1 \cdot c_2 \quad [\text{W}] \quad (11)$$

Kde:

P Celkový příkon svítidel včetně ztrát v předřadníku

c_1 Součinitel současnosti používání svítidel

c_2 Zbytkový součinitel

Postup při volbě součinitelů stanovuje norma.

2.4.3 Tepelné zisky přístrojů

Základní přístroje a jejich tepelné zisky jsou uvedeny v tabulce 2.3

přístroj	Dnešní stav	Nový přístroj na trhu
chladnička	216	160
mraznička	315	244

Myčka	338	274
Pračka	163	142
televizor	73	51

Tab. 2.3 tepelné zisky od přístrojů

2.5 Tepelné zisky prostupem okny

Okna jsou jedním z dalších prvkem k ohřívání domu solární energií. Především u pasivního domu jsou nedílnou součástí vytápění. Oproti tomu u klasických novostaveb, při špatné volbě oken vznikají skrze nekvalitní okna největší tepelné ztráty a tepelné mosty. Tepelné zisky určíme ze vztahu:

$$Q_g = G_{HS} \cdot S_w \cdot kr \cdot g \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

Kde:

Q_s	Zisk ze solárního záření	[kWh]
S_w	Plocha oken	[m ²]
K_r	Korekční činitel rámu	[-]
g	Solární faktor-charakterizuje celkovou propustnost sluneční energie	[-]
G_{HT}	Celková intenzita dopadajícího záření	[kW.hod/m ²]

3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT NOVOSTAVBY

3.1 Popis novostavby

Stavba bude postavena v Ostravě – Bartovicích, kraj Moravskoslezský. Stavba je situována více prosklenou plochou na jižní stranu. Jedná se o klasickou zděnou novostavbu s neobytným podkrovím. Na obrázku 3.1 je jižní pohled na stavbu. Na obrázku 3.2 je půdorys domu.



obrázek 3.1 Jižní pohled na novostavbu



obrázek 3.2 Půdorys domu

3.2 Výpočet součinitele prostupu tepla

Pro výpočet použijeme tzv. obálkovou metodu, což znamená, že spočítáme tepelné ztráty po celé venkovní ploše objektu. Jako názorný příklad použijeme obývací pokoj, jehož 3 stěny jsou zároveň venkovní. Tato místnost zahrnuje stěny 1.l.ob.pokoj-S; ob.pokoj-V; ob.pokoj-J. U zde provedeného výpočtu se bude jednat o tepelné ztráty obvodovým zdívem, otvory a větrání. Viz. Příloha Tabulka 1. Tepelné zisky započítáme na konci výpočtu do tepelné ztráty celého objektu. Samotný výpočet provedeme dle normy ČSN 060210

3.2.1 Tepelná ztráta prostupem tepla.

Stěny domu, tudíž i samotného pokoje se skládá z tvarovek POROTHERM 44 P+D – 440mm, venkovní fasády KNAUF a vnitřní sádrové omítky KNAUF.

Vrstva	Tloušťka vrstvy[m]	λ [W.m-1.K-1]
Omítka KNAUF	0.022	0.12
Porotherm 44 P+D	0.44	0.14

Fasáda KNAUF	0.025	0.2
--------------	-------	-----

Tab. 3.1 Skladba zdiva

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.022}{0.12} + \frac{0.44}{0.14} + \frac{0.025}{0.2} + \frac{1}{8}} = \underline{\underline{0.2776 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})}}$$

Při výpočtu součinitele prostupu tepla byly uvedeny následující hodnoty

- součinitele přestupu tepla dle [ČSN 730540-3]:
- venkovní konstrukce v zimním období $\alpha = 23 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$
- vodorovná konstrukce-tepelný tok shora dolů $\alpha = 6 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$
- vodorovná konstrukce-tepelný tok zdola nahoru $\alpha = 8 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$

3.3 Výpočet základní tepelné ztráty

Plochy se kterými počítáme mají stejný součinitel prostupu tepla i stejný rozdíl teplot, můžeme je proto pro zjednodušení výpočtu sečíst.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (3)

$$Q_o = 0,2776 \cdot 23,57 \cdot (20 - (-15)) = \underline{\underline{229 \text{ W}}}$$

3.4 Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (2)

$$Q_p = 77,5121 \cdot (1 + 0,04164 + 0 + 0,1) + 84,786 \cdot (1 + 0,04164 + 0 - 0,05) + 82,5706 \cdot (1 + 0,04164 + 0 + 0,05) = \underline{\underline{244,78 \text{ W}}}$$

3.5 Výpočet tepelné ztráty větráním

Pro výpočet dle vzorce ze vztahu (9) je potřeba nejprve vypočítat objemový tok větracího vzduchu v místnosti. Objemový tok musí vycházet z hygienických požadavků, které jsou dány potřebnou intenzitou výměny vzduchu.

Objemový tok větracího vzduchu stanovíme ze vztahu (8)

$$V_{\min} = \frac{0,50}{3600} \cdot 63,43 = 0,0088 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pro výpočet ztráty větráním použijeme vzorec ze vztahu (9)

$$Q_v = 1300 \cdot 0,0088 \cdot (20 - (-15)) = \underline{\underline{400,8424 \text{ W}}}$$

3.6 Výpočet tepelných zisků od vnitřních zdrojů

3.6.1 Tepelná produkce lidí

Pro tento dům jsem zvolil rodinu skládající se z jednoho muže, jedné ženy a 2 dětí. Spočte se ze vztahu (10):

$$Q_i = (0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m) \cdot 62 = (0,85 \cdot 1 + 0,75 \cdot 2 + 1) \cdot 62 = \underline{\underline{207,7 \text{ W}}}$$

3.6.2 Tepelné zisky prostupem tepla skrz okna

Pro novostavbu jsou použita plastová dvojskla okna Zendow..

Výpočet tepelných zisků získáme ze vzorce (12)

$$Q_g = S_w \cdot k_r \cdot g \cdot Q_s = 11,492 \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 1070 = \underline{\underline{3077 \text{ kWh}}}$$

Pozn. Tepelné zisky zahrneme až při výpočtu vytápění.

3.6.3 Tepelné zisky od svítidel a strojů

Nejsou-li k dispozici přesné údaje o vybavení, doporučuje norma ČSN EN 832 počítat s průměrnými tepelnými zisky 5 W na metr čtvereční vytápěné plochy.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (11)

$$Q_{SaPr} = S_{ob.} \cdot 5 = 118,6 \cdot 5 = \underline{\underline{593W}}$$

3.6.4 Celkové tepelné zisky

Celkové tepelné zisky se vypočítají sečtením zisky ze svítidel a ze spotřebičů a tepelné produkce lidí ze vzorce(12):

$$Q_z = Q_i + Q_{SaPr} = 207,7 + 593 = \underline{\underline{800.7W}}$$

Pozn.: Jelikož lidé nejsou v domě neustále, použijeme pro výpočet poloviční hodnoty výsledku, tedy $Q_z = 400,35W$

3.7 Celková tepelná ztráta pro místnost 1.I

Pro celkové tepelné ztráty musíme do výpočtu zahrnout ještě ztráty přes okna, podlahu a dveře. Tyto hodnoty jsou zpracovány v příloze Tabulka 5. V tomto případě jsou již hodnoty zahrnuty ve výpočtu. K výpočtu použijeme vzorec ze vztahu (1)

$$Q_c = Q_p + Q_v + Q_z = 244,87 + 400,8424 + 0 = \underline{\underline{645,712}}$$

3.8 Celková ztráta pro celou klasickou novostavbu

Celková ztráta je spočtena součtem tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti, které jsou podrobně zpracovány v přílohách. Tabulky 1- 5. Vztah dle vzorce (1)

$$Q_c = Q_p + Q_v + Q_z = 3470 + 1738,759 - 400,35 = \underline{\underline{4809,36W}}$$

4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU

4.1 Popis nízkoenergetického domu

Pro lepší srovnání použijeme stejný dům jako při výpočtu klasické novostavby, ale použijeme jinou skladbu obvodových zdí, lepší zateplení střechy a podlah a použijeme kvalitnější okna. Při použití zateplení se nám zmenší tepelné ztráty a tím se zmenší potřeba tepla na vytápění. Domek tím bude spadat do nízkoenergetické kategorie.

4.2 Popis výpočtu součinitele prostupu tepla

Postup výpočtu je totožný s výpočtem pro klasickou novostavbu. Budeme počítat pro stejnou místnost, tedy obývací pokoj 1.l.

4.2.1 Tepelná ztráta prostupem tepla.

Jako obvodové zdivo Jsme zvolili POROTHERM 30 P+D – 300mm, Zateplení tvrzenou minerální vlnou o tloušťce 180mm, venkovní fasády KNAUF a vnitřní sádrové omítky KNAUF.

Vrstva	Tloušťka vrstvy[m]	λ [W.m-1.K-1]
Omítka KNAUF	0.022	0.12
Porotherm 30 P+D	0.30	0.14
Izolace rockwool airrock	0.18	0.035
Fasáda KNAUF	0.025	0.2

Tab. 4.1 Skladba zdiva

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.022}{0.12} + \frac{0.30}{0.14} + \frac{0.18}{0.035} + \frac{0.025}{0.2} + \frac{1}{8}} = 0,1516 \text{ W } / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

4.3 Výpočet základní tepelné ztráty

Plochy se kterými počítáme mají stejný součinitel prostupu tepla i stejný rozdíl teplot, můžeme je proto pro zjednodušení výpočtu sečíst.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (3)

$$Q_o = 0,1516 \cdot 23,57 \cdot (20 - (-15)) = \underline{\underline{125,06W}}$$

4.4 Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (2)

$$Q_p = 77,5121 \cdot (1 + 0.1516 + 0 + 0.1) + 84,786 \cdot (1 + 0.1516 + 0 + 0) + \\ + 82,5706 \cdot (1 + 0.1516 + 0 + 0.05) = \underline{\underline{131,361W}}$$

4.5 Výpočet tepelné ztráty větráním

Při výpočtu tepelné ztráty větráním se počítá s vnitřním objemu vzduchu, rozdílem teplot vnější a vnitřní a hygienické potřeby pro výměnu vzduchu. Tyto hodnoty jsou stejné jako pro novostavbu. Použijeme tedy vzorec ze vztahu (9)

$$V_{\min} = \frac{0,50}{3600} \cdot 63,43 = \underline{\underline{0,0088m^3/s}}$$

Pro výpočet ztráty větráním použijeme vzorec ze vztahu (8)

$$Q_v = 1300 \cdot 0,0088 \cdot (20 - (-15)) = \underline{\underline{400,8424W}}$$

4.6 Výpočet tepelných zisků od vnitřních zdrojů

4.6.1 Tepelná produkce lidí

Stejné složení rodiny. Jeden muž, jedna žena a 2 děti. Výpočet podle (10)

$$Q_i = (0.85 \cdot i_z + 0.75 \cdot i_d + i_m) \cdot 62 = (0.85 \cdot 1 + 0.75 \cdot 2 + 1) \cdot 62 = 207,7W$$

4.6.2 Tepelné zisky ze solárních zdrojů prostupem tepla skrz okna

Volil jsem stejná plastová okna Zendow Pro tuto stavbu Jsou zcela dostačující.

Výpočet tepelných zisků získáme ze vzorce (12)

$$Q_g = S_w \cdot kr \cdot g \cdot Q_s = 11,492 \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 1070 = 3077 \text{ kWh}$$

Pozn. Tepelné zisky zahrneme až při výpočtu vytápění.

4.6.3 Tepelné zisky od svítidel

Nejsou-li k dispozici přesné údaje o vybavení, doporučuje norma ČSN EN 832 počítat s průměrnými tepelnými zisky 5 W na metr čtvereční vytápěné plochy. Pro výpočítání použijeme výpočet (11)

$$Q_{SaPř} = S_{ob} \cdot 5 = 118,6 \cdot 5 = 593 \text{ W}$$

4.6.4 Celkové tepelné zisky

Celkové tepelné zisky se vypočítají sečtením zisky ze svítidel a ze spotřebičů a tepelné produkce lidí ze vzorce(12):

$$Q_Z = Q_i + Q_{SaPř} = 207,7 + 593 = 800,7 \text{ W}$$

Pozn.: Jelikož lidé nejsou v domě neustále, použijeme pro výpočet poloviční hodnoty výsledku, tedy $Q_Z = 400,35 \text{ W}$

4.7 Celková tepelná ztráta pro místnost 1.I

Pro celkové tepelné ztráty musíme do výpočtu zahrnout ještě ztráty přes okna, podlahu a dveře. Tyto hodnoty jsou zpracovány v příloze Tabulka 5. V tomto případě jsou již hodnoty zahrnuty ve výpočtu.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (1)

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z = 262,316 + 400,7424 + 0 = \underline{\underline{663,05 \text{ W}}}$$

4.8 Celková ztráta pro celý nízkoenergetický dům

Celková ztráta je spočtena součtem tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti, které jsou podrobně zpracovány v přílohách. Tabulky 1- 5.

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z = 2364,3 + 1738,795 - 400,35 = \underline{\underline{3887,254 \text{ W}}}$$

5 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PASIVNÍHO DOMU

5.1 Popis pasivního domu

I u pasivního domu budeme vycházet z novostavby. Aby dům spadl do kategorie pasivní, je potřeba oproti nízkoenergetickému použít jiný, kvalitnější materiál s větším tepelným odporem. Dům je potřeba více zateplit. Hlavně je potřeba se zaměřit na strop a okna kde jsou největší tepelné ztráty. Nucené větrání bude stejné, protože obsah vzduchu který je potřeba v místnosti z hygienického hlediska vyměnit se nám nezmění.

5.2 Popis výpočtu součinitele prostupu tepla

Postup výpočtu je totožný s výpočtem pro klasickou novostavbu. Budeme počítat pro stejnou místnost, tedy obývací pokoj 1.l.

5.2.1 Tepelná ztráta prostupem tepla.

Jako obvodové zdivo Jsme zvolili Ytong Lambda. Jedná se o tvárnice z autoklávového pórobetonu. Zateplení tvrzenou minerální vlnou o tloušťce 200mm, venkovní fasády KNAUF a vnitřní sádrové omítky KNAUF.

Vrstva	Tloušťka vrstvy[m]	λ [W.m-1.K-1]
Omítka KNAUF	0.022	0.12
Ytong Lambda	0.30	0.085
Izolace rockwool airrock	0.20	0.035
Fasáda KNAUF	0.025	0.2

Tab. 5.1 Skladba zdiva

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.022}{0.12} + \frac{0.30}{0.085} + \frac{0.20}{0.035} + \frac{0.025}{0.2} + \frac{1}{8}} = 0,1028 \text{ W } / (m^2 \cdot K)$$

5.3 Výpočet základní tepelné ztráty

Plochy se kterými počítáme mají stejný součinitel prostupu tepla i stejný rozdíl teplot, můžeme je proto pro zjednodušení výpočtu sečíst.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (3)

$$Q_o = 0,1028 \cdot 23,57 \cdot (20 - (-15)) = 84,4W$$

5.4 Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (2)

$$Q_p = 109,485 \cdot (1 + 0.1028 + 0 + 0.1) + 65,98 \cdot (1 + 0.1028 + 0 + 0) + \\ + 109,485 \cdot (1 + 0.1028 + 0 + 0.05) = 88,5163W$$

5.5 Výpočet tepelné ztráty větráním

Protože víme, že pasivní dům bude využívat ventilaci se zpětným získáváním tepla, je potřeba s účinností rekupirátoru počítat již při výpočtu tepelné ztráty větráním, která se nám díky tomu výrazně sníží. Rekupirátory dokáží zpětně získat až 90% tepla odvedeného z domu pomocí ventilace. Výpočet provedeme dle vzorce:

$$Q_r = V_{vh} \cdot C_N \cdot (t_i - t_r) \quad [W] \quad (13)$$

$$t_r = \eta_r \cdot (t_i - t_e) + t_e \quad [^\circ C] \quad (14)$$

Kde:

Q_r	Tepelná ztráta větráním místnosti	[m ³ /h]
V_{vh}	je požadovaný objemový průtok větracího vzduchu	[kWh/m ³ K]
C_n	vzduchová kapacitní konstanta = 0,337 10 ⁻³	[°C]
t_i	výpočtová vnitřní teplota místnosti	[°C]
t_e	výpočtová venkovní teplota	[°C]
t_r	teplota přiváděného vzduchu po rekuperaci	[°C]
η_r	účinnost rekuperace	[%]

Výpočet:

$$Q_r = 0,0088 \cdot 0,337 \cdot 10^{-3} (20 - 46,5) = \underline{\underline{37,3W}}$$

$$t_r = 0,90 \cdot (20 + (-15)) - 15 = \underline{\underline{46,5^{\circ}C}}$$

5.6 Výpočet tepelných zisků od vnitřních zdrojů

5.6.1 Tepelná produkce lidí

Stejné složení rodiny. Jeden muž, jedna žena a 2 děti. Výpočet podle (10)

$$Q_i = (0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m) \cdot 62 = (0,85 \cdot 1 + 0,75 \cdot 2 + 1) \cdot 62 = 207,7W$$

5.6.2 Tepelné zisky skrz okna

Pro pasivní dům jsem volil izolační trojsklo Eurookna od firmy Kerner pro svoje vynikající izolaci. Euro okna jsou na rozdíl od klasických plastových oken dřevěné. Protože je dřevo logický materiál a obnovitelný zdroj.

Výpočet tepelných zisků získáme ze vzorce (12)

$$Q_g = S_w \cdot k_r \cdot g \cdot Q_s = 11,492 \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 1070 = 3077 kWh$$

Pozn.: Tepelné zisky zahrneme až při výpočtu vytápění.

5.6.3 Tepelné zisky od svítidel

Nejsou-li k dispozici přesné údaje o vybavení, doporučuje norma ČSN EN 832 počítat s průměrnými tepelnými zisky 5 W na metr čtvereční vytápěné plochy. Pro vypočítání použijeme výpočet (11)

$$Q_{SaPr} = S_{ob} \cdot 5 = 118,6 \cdot 5 = 593W$$

5.6.4 Celkové tepelné zisky

Celkové zisky spočítáme ze vzorce (11)

$$Q_z = Q_i + Q_{SaPr} = 207,7 + 593 = 800,7W$$

Pozn.: Jelikož lidé nejsou v domě neustále, použijeme pro výpočet poloviční hodnoty výsledku, tedy $Q_z = 400,35 W$

5.7 Celková tepelná ztráta pro místnost 1.I

Pro celkové tepelné ztráty musíme do výpočtu zahrnout ještě ztráty přes okna, podlahu a dveře. Tyto hodnoty jsou zpracovány v příloze Tabulka 5. V tomto případě jsou již hodnoty zahrnuty ve výpočtu.

Pro výpočet použijeme vzorec ze vztahu (1)

$$Q_c = Q_p + Q_v + Q_z = 162.25 + 5.87 + 0 = \underline{\underline{168.122 W}}$$

5.8 Celková ztráta pro celý pasivní dům

Celková ztráta je spočtena součtem tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti dle vztahu (1). Zbylé místnosti jsou podrobně zpracovány v přílohách. Tabulky 1- 5.

$$Q_c = Q_p + Q_v + Q_z = 2114,978 + 167,6 - 400,5 = \underline{\underline{1882,078 W}}$$

6 NÁVRH VYTÁPĚNÍ

Vzhledem k rozdílnosti spotřeby energie na vytápění, je potřeba přizpůsobit i vytápění pro jednotlivé budovy. Základním faktorem pro návrh vytápění je tepelná ztráta prostupem tepla od které odečteme vyčítané tepelné zisky. Výsledek nám pak dá měrnou potřebu tepla na vytápění.

Novostavba bude mít zdrojem tepla kondenzační plynový kotel. Plynový kotel jsem zvolil kvůli malým investičním nákladům, jednoduchosti a pohodlí.

K vytápění bude použito podlahové vytápění. Veškeré rozvodné potrubí bude z mědi. Plynový kotel se vyznačuje pohodlím, jednoduchostí při ovládání a . Na rozdíl od tuhých paliv odpadá problém se skladováním paliva a odpadem při spalování. Systém je podle normy ČSN 060830 vybaven expanzní nádobou, uzavřenou a tlakovou.

Nízkoenergetický dům bude vybaven dvěma typy vytápění. Základním zdrojem bude tepelné čerpadlo, které využívá stálého tepla vzduchu a vody pod povrchem na vytápění. Jako doplňujícím zdrojem tepla bude navržen horkovodní krb s krbovou vložkou. Dům má stejné podlahové vytápění jako novostavba.

Pasivní dům bude mít díky veliké těsnosti navrhnoutou ventilaci se zpětným získáváním tepla. Vzhledem k vysokým mrazům přes otopné období bude vzduch, který se vhání do místnosti, přehřívat tepelným čerpadlem. To bude v létě sloužit i jako klimatizace..

6.1 Výpočet celkové potřeby tepla za celé otopné období

Pro tento výpočet použijeme vzorec z použité literatury [1]

$$E_c' = 24 \cdot e \cdot d_0 \cdot Q_n \cdot \frac{t_i - t_{em}}{t_i - t_e} \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

Kde:

E_c'	Potřeba tepla za celé vytápěcí období	[kWh]
24	Počet hodin za den	[hod]
e	poměrná potřeba tepla od počátku vytápěcího období	[-]
d_0	Doba vytápěcího období	[den]

Q_n	jmenovitý tepelný výkon potřebný pro vytápění	[kWh]
t_i	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
t_{em}	průměrná vnější teplota za celé vytápěcí období	[°C]
t_e	výpočtová vnější teplota	[°C]

-Pro klasickou novostavbu:

$$E_c' = 24 \cdot 1 \cdot 219 \cdot 4809,36 \cdot \frac{20 - 5,2}{20 - (-15)} = \underline{\underline{10111,98 kWh}}$$

-Pro nízkoenergetický dům:

$$E_c' = 24 \cdot 1 \cdot 219 \cdot 3887,254 \cdot \frac{20 - 5,2}{20 - (-15)} = \underline{\underline{8172,563 kWh}}$$

-Pro pasivní dům

$$E_c' = 24 \cdot 1 \cdot 219 \cdot 1882,078 \cdot \frac{20 - 5,2}{20 - (-15)} = \underline{\underline{3956,881 kWh}}$$

6.2 Kontrola kategorie jednotlivých budov

Pro zařazení do jednotlivých kategorií, které Jsme si uvedli v kap.1.2 je potřeba znát potřebu tepla na vytápění na m^2 . Docílíme toho tak, že výsledky pro jednotlivé domy vydělíme otopnou plochou domu. Vzhledem k orientaci všech staveb na jižní stranu je část vytápění zajištěná tepelnými zisky ze solární energie. Proto je od výsledku na celkovou potřebu tepla na vytápění odečteme. Tepelné zisky ze solární energie lze chápat jako bezplatnou část vytápění. U pasivního domu jsou solární zisky takřka totožné s tepelnými ztrátami.

Použijeme vzorec ze vztahu:

$$E_c = \frac{E_c' - Q_g}{S} \quad \text{[kWh]} \quad (16)$$

-Pro klasickou novostavbu:

$$E_c = \frac{10111,98 - 3077}{118,6} = \underline{\underline{59,30 kWh}}$$

-Pro nízkoenergetický dům:

$$E_c = \frac{8172,563 - 3077}{118,6} = \underline{\underline{42,96kWh}}$$

-Pro Pasivní dům:

$$E_c = \frac{3956,881 - 3077}{118,6} = \underline{\underline{7,41kWh}}$$

6.3 Návrh vytápění pro novostavbu

Podle potřeby na vytápění Jsem volil kondenzační plynový kotel. První důležité kritérium bylo, že kondenzační kotel má více než 100% účinnost. Protože získává i zpětné teplo, které odchází ve formě vodní páry ve spalínách. Druhým významnějším kritériem pro výběr bylo pohodlí. Při topení plynovým kotlem si majitel jen reguluje teplotu v místnosti.

Konkrétně Jsem zvolil CerapurModul. Jedná se o stacionární kondenzační kotel, který má účinnost až 109%. Součástí je i zásobník na 100l vody. Kotel má Ekonomické funkce na ohřev TUV, což sníží jeho náklady na provoz.

CerapurModulSmart

Výkon: 14kW

Zásobník TUV: 100l

Úsporná elektricky řízená čerpadla

Cena: 52 937,- Kč

Výpočet spotřebované energie na vytápění:

$$E_p = \frac{E_c'}{\eta} = \frac{10111,98}{1,09} = \underline{\underline{9277,045kWh}}$$



Obrázek 6.1 Plynový kotel

Kde:

E_p	Spotřebovaná energie(v tomto případě zemní plyn)
E_c	Energie potřebná na vytápění
η	Účinnost

6.4 Návrh vytápění nízkoenergetického domu

Navržené otopné řešení Jsem kalkuloval pro kombinaci dvou typů vytápění. V prvním případě se jedná o tepelné čerpadlo. Druhým typem je horkovzdušný krb umístěný v obývacím pokoji. Krb bude mít krbovou vložku a při topení v něm bude teplo rozváděno i do okolních místností. Krb je zároveň dekorací a v domu navodí příjemnou atmosféru.

6.4.1 Návrh tepelného čerpadla

Pro tento příklad Jsem zvolit tepelné čerpadlo země-vzduch. Základem tepelného čerpadla jsou hlubinné vrty. V plastové trubce cirkuluje nemrzoucí směs, která se průchodem zemí ohřívá. Na obrázku 6.2 můžete vidět řez tepelným čerpadlem a na obrázku 6.3 je znázorněno umístění čerpadla v domě. Zvolil Jsem čerpadlo IVT Greenline E7:

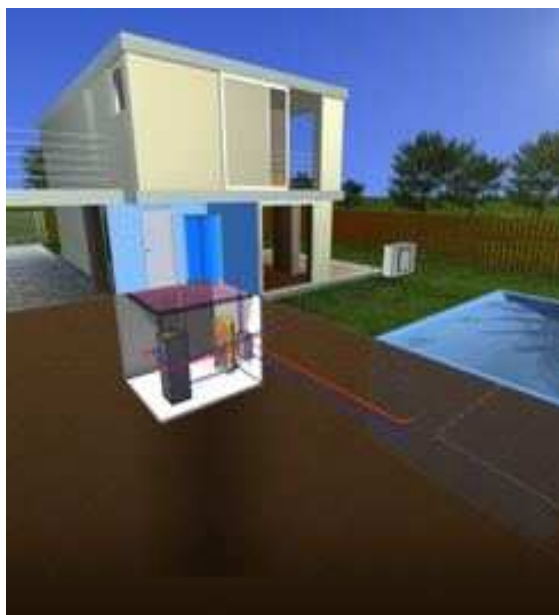
topný výkon při 0°C /35°C	7,3kW
Topný faktor při 0°C/35°C	4,6
Topný výkon při 0°C/50°C	6,9kW
Topný faktor při 0°C/50°C	3,3
Maximální výstupní teplota	65°C

Výpočet spotřebované energie na vytápění:

$$E_p = \frac{E_c}{\eta} = \frac{8172,563}{3} = \underline{\underline{2724,188kWh}}$$



obr. 6.2 Řez tep.čerpadlem



obrázek 6.3 Uložení tep. čerpadla

pozn.:Ve výpočtu je u spotřeby energie dosazeno za jmenovatele hodnota 3. Protože do oběhu musíme dodat 1/3 energie v podobě elektřiny.

6.4.2 Návrh Horkovodního krbu s vložkou

Z široké nabídky byl pro tento dům nejefektivnější krb od jedné z největších českých firem Atmos. Díky vložce se teplo rozvádí do celého domu.

-Technické parametry:

Tepelný jmenovitý výkon	22,4kW
Výkon do vody	15kW
Spotřeb dřeva	710kg/hod
Objem vody ve vložce	70litrů
Hmotnost	250Kg
Cena	45 000,-

Výpočet spotřebované energie na vytápění:

$$E_p = \frac{E_c}{\eta} = \frac{8172,563}{0,75} = \underline{\underline{10896kWh}}$$



obr. 6.4 Teplovodní krb

6.5 Návrh vytápění pasivního domu

Cílem pasivního domu je zabránit jakémukoliv úniku tepla z budovy, takže je nutné upustit od klasického větrání. jedním z nezbytných prvků pasivního domu je tedy rekuperace tepla, neboli zpětné získávání tepla, při němž se přiváděný vzduch do budovy předehřívá teplým odpadním vzduchem. Pro tento způsob vytápění jsem použil projekční podklady společnosti Atrea, která je jedním z nejvýznamnějších výrobců a dodavatelů vzduchotechniky s rekuperací tepla v ČR. Výpočet tepelné ztráty díky rekuperaci je vypočten v kap.5.5.

K rekuperaci jsem použil teplovzdušnou jednotku DUPLEX RK2, pro své výrazně menší rozměry, velkou účinnost a malou spotřebu energie. Na předehřátí venkovního vzduchu nám poslouží tepelné čerpadlo země-voda IVT Greenline E7

Technické parametry Tepelného čerpadla:

topný výkon při 0°C /35°C	7,3kW
Topný faktor při 0°C/35°C	4,6
Topný výkon při 0°C/50°C	6,9kW
Topný faktor při 0°C/50°C	3,3

Maximální výstupní teplota	65°C
----------------------------	------

$$E_p = \frac{E_c}{\eta} = \frac{3956,881}{3} = \underline{\underline{1318,66kWh}}$$

Technické parametry ventilační jednotky:

Max. výkon větrání	370m ³ /s
Max. výkon cirkulace	440m ³ /s
Max. topný výkon	3,6kW
Účinnost rekuperace	90%



obrázek 6.5 Tepelné čerpadlo



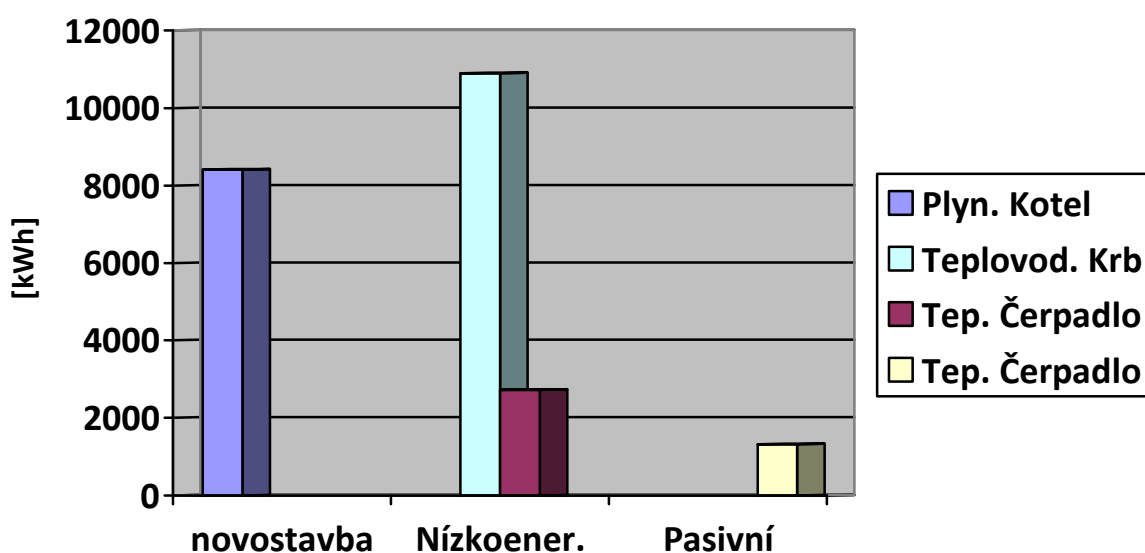
obrázek 6.6 Tepelné čerpadlo

6.6 Srovnání spotřeby energie za vytápěcí období

V tabulce 6.1 a grafu 6.1 můžeme vidět spotřebovanou energii na vytápění jednotlivých objektů

Novostavba	8409,09kWh
Nízkoenergetický dům (vytápěno krbem)	10896kWh
Nízkoenergetický dům (vytápěno tep. čerpadlem)	2724,17kWh
Pasivní dům	1318,66kWh

tab. 6.1 Srovnání energie za vytápěcí období



graf 6.1

Celková spotřeba tepla na vytápění

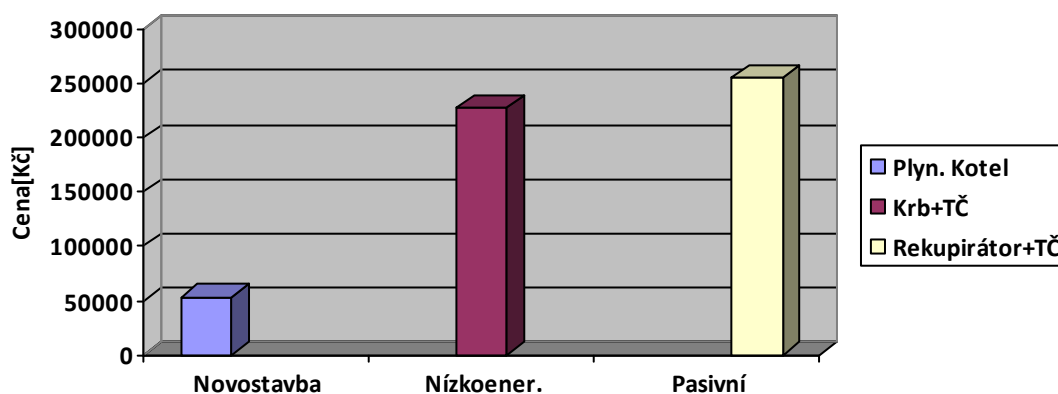
7 EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ NÁKLADŮ

7.1 Investiční náklady

V tab. 7.1 a grafu 7.1 Jsem shrnul investiční náklady na technologie vytápění. V ceně není zahrnuta montáž.

	Plynový kotel	Krb	Tepel čerpadlo	Rekuperátor
Novostavba	52.937,- Kč	-	-	-
Nízkoenergetický	-	47.700,-Kč	180.000,-Kč	-
Pasivní	-	-	180.000,-Kč	74.800,-Kč

tab.7.1



graf 7.1

Investiční náklady

7.2 Provozní náklady

Ceny paliv jsou použity ze serveru TZB-INFO. Kvůli neustálému nárůstu cen nemusí být aktuální, berme je tedy jen jako orientační. V tab. 7.2 je přehled jednotlivých cen paliv

$$C = 10896 \cdot 0,62 = \underline{\underline{6755,2Kč}}$$

7.2.3 Cena za vytápění Pasivního domu

Vytápění bude zajištěno rekuperační jednotkou a plynovým kotlem. Na spotřebu energie rekuperační jednotky má vliv celá řada faktorů. Průměrně počítejme, že 2 spirály o 100W, které se denně zapnou 6x aby byla zajištěna hygienická výměna vzduchu a Jedno topné těleso o výkonu 2000W, které spíná pouze při topné sezóně, která je u pasivních domů jen 5 měsíců, denně tak jednotka spotřebuje 800W. Za rok je to pak 292kWh.

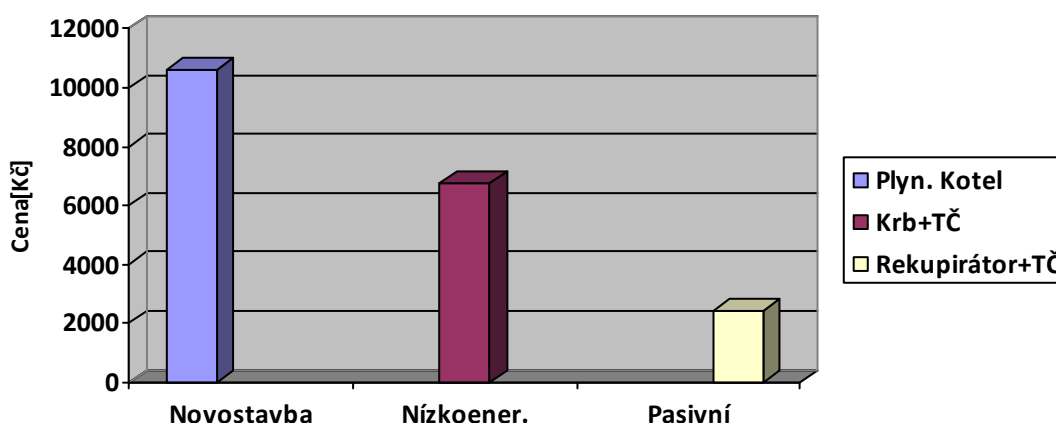
$$C = (292 \cdot 2,6) + (1318,66 \cdot 1,2579) = \underline{\underline{2417,94Kč}}$$

7.2.4 Srovnání provozních nákladů

V tabulce 7.3 a grafu 7.3, naleznete srovnání nákladů na vytápění u jednotlivých staveb.

Novostavba	10.577,8Kč
Nízkoenergetický dům	6.755,2Kč
Pasivní dům	2.417,94Kč

Tabulka 7.3 Provozní náklady na vytápění



graf 7.2

Porovnání provozních nákladů ročně

7.3 Celkové porovnání nákladů

V tabulce 7.4 je uvedeno celkové investiční i provozní náklady, dále jsou zde uvedeny tepelné ztráty a potřeba tepla na vytápění.

Typ budovy	Tepelné Ztráty [kW]	Potřeba tepla na vytápění [kWh]	Investiční Náklady [Kč]	Roční provozní Náklady [Kč]
Novostavba	4809,36	59,30	52 937	10 577,80
Nízkoenergetický	3887,254	42,96	227 700	7 082,80
Pasivní	1882,078	7,41	254 800	2 417,94

Tabulka 7.4 Celkové porovnání

Z následující tabulky je zřejmé, že Pasivní dům má sice o 80% větší pořizovací cenu oproti novostavbě, za to má o 78% levnější provoz. pokud by se nic nezměnilo a domy si udržovaly stejnou energetickou bilanci, návratnost investice by se pohybovala okolo 24let. Investor se však rozhoduje i z hlediska tepelného pohodlí, čistého prostředí bez průvanu a nutnosti manuálně větrat.

8 ZÁVĚR

První část práce Jsem se věnoval samotné problematice výstavby s ohledem na energetickou bilanci. Podíval se do historie jak využívali energetickou energii již první stavitelé vůbec.

Cílem mé práce bylo na základě výpočtů zjistit jaký vliv má velikost zateplení a volba materiálu při stavbě rodinného domku. Pro přesnější porovnání Jsem zvolil jeden a tentýž dům, Jehož tepelné ztráty Jsem postupně počítal při různých skladbách obvodového zdiva. Výsledkem bylo, že s přibývajícím materiálem úměrně klesají i tepelné ztráty a dům se postupně kategorizuje do jednotlivých energetických tříd. Od novostavby, přes nízkoenergetický až po pasivní.

Dále Jsem na základě tepelné ztráty prostupem tepla mohl spočítat kolik tepla je potřeba na vytápění daného objektu zajistit. Na základě této skutečnosti Jsem na všechny tři budovy navrhl způsob vytápění. Hodnotící kritéria byla účinnost, pořizovací náklady, náklady na provoz a vliv na životní prostředí.

Pro klasickou novostavbu doporučuji kondenzační plynový kotel, pro nízkoenergetický dům Jsem zvolil kombinaci tepelného čerpadla a horkovodního krbu. Pro pasivní dům bylo potřeba navrhnout i vzduchotechniku. Zvolil Jsem vzduchotechniku se zpětným získáváním tepla v kombinaci s tepelným čerpadlem, pro případ silných mrazů.

V závěru své práce Jsem veškeré vypočtené hodnoty porovnal a vyhodnotil. Výsledkem byla návratnost investice do pasivního domu oproti klasické novostavbě 24let. Investice se tedy vyplatí v případě, že investorovi jde hlavně o zdravé prostředí, bez průvanu, s pocitem tepelné pohody a nezávislosti. Investor si tak hlavně zajistí levné bydlení na stáří.

Seznam použitých pramenů:

- [1] Cihelka, J.: Vytápění, větrání, klimatizace, Praha, 1974
- [2] Ražnjevič, K.: Termodynamické tabulky, Alfa, 1983
- [3] Toman, Z., Bálek, S., Klečková, Z.: Tepelně technické výpočty, Ostrava: VŠB-TUO, 1983.
- [4] Smolík, J.: Technika prostředí, SNTL, Praha, 1985
- [5] Kolasa K.: Větrání, klimatizace a vytápění, VŠB-TU Ostrava, 1974
- [6] Tintěra, L.: Tepelná čerpadla, Archa, 2002
- [7] Řehánek, J.,
- [7] ČSN 06 02 10: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
- [8] ČSN 73 05 40: Tepelná ochrana budov
- [9] ČSN 1264 Podlahové vytápění
- [10] www.tzb-info.cz

Seznam příloh:

Příloha 1- Tabulka 1. Tepelné ztráty prostupem přes zdivo
Tabulka 2. Tepelné ztráty větráním
Tabulka 3. Tepelné ztráty prostupem přes střechu
Tabulka 3. Tepelné ztráty přes okna a podlahu

Příloha 2- Tabulka 1. Tepelné ztráty prostupem přes zdivo
Tabulka 2. Tepelné ztráty větráním
Tabulka 3. Tepelné ztráty prostupem přes střechu
Tabulka 3. Tepelné ztráty přes okna a podlahu

Příloha 3- Tabulka 1. Tepelné ztráty prostupem přes zdivo
Tabulka 2. Tepelné ztráty větráním
Tabulka 3. Tepelné ztráty prostupem přes střechu
Tabulka 3. Tepelné ztráty přes okna a podlahu

Grafické přílohy- Výkres půdorysu domu